

Print

May 17, 1996

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-122496

(43)公開日 平成8年(1996)5月17日

(51)IntCl. ^a	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 K 1/06		C		
G 0 2 B 5/28				

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平6-257099

(22)出願日 平成6年(1994)10月21日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 押野 哲也

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 和佐 若菜

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

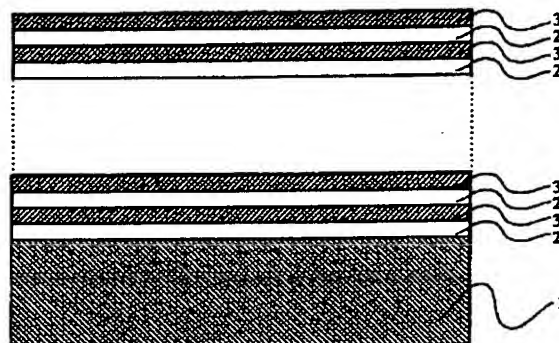
(54)【発明の名称】 多層膜反射鏡

(57)【要約】

【目的】 軟X線領域において、特に波長108.4 Åの鉄の輝線スペクトル (Fe XIX) に対して、高い反射率と波長分解能を有する多層膜反射鏡を提供すること。

【構成】 軟X線領域での屈折率と真空の屈折率との差が小さい物質の第1層(3)と大きい物質の第2層

(2)とを基板(1)上に交互に積層してなる多層膜反射鏡において、前記屈折率の差が小さい物質として、ホウ素、炭素、炭化ホウ素、または窒化ホウ素を用い、前記屈折率の差が大きい物質として、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、または銀を用いたことを特徴とする多層膜反射鏡。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟X線領域での屈折率と真空の屈折率との差が小さい物質の第1層と大きい物質の第2層とを基板上に交互に積層してなる多層膜反射鏡において、前記屈折率の差が小さい物質として、ホウ素、炭素、炭化ホウ素、または窒化ホウ素を用い、前記屈折率の差が大きい物質として、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、または銀を用いたことを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項2】 前記積層の回数を反射率が飽和する値にしたことを特徴とする請求項1記載の多層膜反射鏡。

【請求項3】 前記第1層と前記第2層を1層ずつ積層した積層体の層厚に相当する前記積層の周期長、及び前記第1層と前記第2層との層厚比を反射率の中心波長が108.4 Åまたは略108.4 Åになる値の組み合わせにしたことを特徴とする請求項1または2記載の多層膜反射鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、軟X線領域で用いられる多層膜反射鏡、特にX線望遠鏡に好適な多層膜反射鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】X線領域における物質の複素屈折率は、 $n = 1 - \delta - i k$ (δ 、 k ：実数、 k はX線の吸収を示す)で表され、 δ 、 k ともに1に比べて非常に小さい。そのため、X線領域では可視光領域のような屈折を利用したレンズは使用できない。そこで、反射を利用した光学系が用いられる。しかし、全反射臨界角 θ_c (波長100 Åで20°程度以下)よりも垂直に近い入射角では反射率が非常に小さいので、界面の振幅反射率になるべく高い物質の組み合わせを何層も積層することにより、反射面を多数 (例えば数百層も) 設けて、それぞれの反射波の位相が合うように、光学干渉理論に基づいて各層の厚さを調整した多層膜反射鏡が用いられる。

【0003】より具体的に説明すれば、多層膜反射鏡は、使用するX線波長における屈折率と真空の屈折率 (=1)との差が小さい物質層 (第1層)と、差の大きい物質層 (第2層)とを交互に多数積層することによって得られる。その代表例として、W (タングステン) / C (炭素)、Mo (モリブデン) / C (炭素)などの組み合わせが従来から知られており、スパッタリング、真空蒸着、CVD (Chemical Vapor Deposition) などの薄膜形成技術によって形成されている。

【0004】多層膜反射鏡は、X線を垂直に反射することも可能なので、全反射を利用した斜入射光学系よりも収差の小さい光学系を構成することができる。また、多層膜反射鏡は、ブラッグの式： $2 d \sin \theta = m \lambda$ (d ：多層膜の周期長、 θ ：斜入射角、 λ ：X線の波長、 m ：正の整数)を満たすときのみX線を強く反射するので、波長選択性を有する。なお、 d は前記屈折率の

差が小さい物質層と差が大きい物質層を各1層ずつ積層した積層体の層厚 (膜厚) に相当する。

【0005】近年、X線望遠鏡を宇宙空間に設置して天体のX線像を観測する、いわゆるX線天文学分野の研究が盛んに行われるようになった。我国でも、これまでに「ようこう」、「あすか」と名付けられた人工衛星にX線望遠鏡が搭載され、太陽等の天体からのX線の観測が行われている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これらの人工衛星に搭載されたX線望遠鏡は、全反射を利用した斜入射光学系によるものであり、斜入射光学系には、波長選択性がないことと、収差が大きいため解像力が悪いという問題点があった。例えば、太陽フレアで生成される高温プラズマやコロナの観測においては、ある特定の温度領域の画像を得ることが望まれており、そのために多層膜反射鏡を用いたX線望遠鏡が開発されつつある。

【0007】観測対象の温度は、そこから発生するX線の波長により知ることができるので、多層膜光学系により特定波長のX線のみの画像を観測すれば、特定の温度部分のみを抽出して観測することができることになる。具体的には、鉄の輝線スペクトル (Fe XIX) の108.4 Åの波長が重要である。この波長は、630 万度の温度に相当する。

【0008】このような用途に使用する多層膜反射鏡には一般に、垂直入射で40%程度以上の反射率と40程度以上の波長分解能が好ましい値として要求される。波長分解能とは、波長に対する反射率のカーブを描いた際のピーク波長を λ 、ピークの半値幅を $\Delta \lambda$ として $\lambda / \Delta \lambda$ で定義される量である。多層膜反射鏡の反射率と波長分解能は、いずれも積層回数 (積層数)を増やすと増加するが、ある積層数に到達すると、それ以上は増加しなくなり飽和する。これは、多層膜を構成する物質の吸収のために基板近傍の層が反射に寄与しなくなるためである。

【0009】多層膜の周期長 (d) は、使用波長と光学系に依存する入射角が決まれば、前記ブラッグの式により決まってしまうが、この場合でも多層膜の周期長に対する重原子層 (前記屈折率の差が大きい物質の層) の層厚比 (Γ) 又は各層 (第1層と第2層) の層厚比には自由度がある。 Γ に対する反射率と波長分解能の振る舞いは異なっており、図2に示すように反射率は上に凸、波長分解能は下に凸の各曲線を描く。したがって、適切な Γ の値を選択することによって、反射率と波長分解能とを両立させた多層膜反射鏡を得ることができる。

【0010】しかしながら、前記従来の材料層からなる多層膜反射鏡では、軟X線領域において、十分な反射率と波長分解能が得られないという問題点があった。例えば、従来から知られているMo/C多層膜では、図2に示すように、波長分解能は60以上の高い値が得られる

が、反射率は35%程度の低い値しか得ることができない。

【0011】本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、軟X線領域において、特に波長108.4 Åの鉄の輝線スペクトル(Fe XIX)に対して、高い反射率と波長分解能を有する多層膜反射鏡を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「軟X線領域での屈折率と真空の屈折率との差が小さい物質の第1層と大きい物質の第2層とを基板上に交互に積層してなる多層膜反射鏡において、前記屈折率の差が小さい物質として、ホウ素、炭素、炭化ホウ素、または窒化ホウ素を用い、前記屈折率の差が大きい物質として、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、または銀を用いたことを特徴とする多層膜反射鏡(請求項1)」を提供する。

【0013】また、本発明は第二に「前記積層の回数を反射率が飽和する値にしたことを特徴とする請求項1記載の多層膜反射鏡(請求項2)」を提供する。また、本*20

$$r = (n_2 - n_1) / (n_2 + n_1) \\ = \{ (\delta_1 - \delta_2 + i(k_1 - k_2)) \} / \{ (\delta_1 + \delta_2 + i(k_1 + k_2)) \}$$

ここではkの小さい物質(吸収が小さい物質)を用いるので、 $\delta \gg k$ となり、前式は次式のように近似することができる。

$$【0016】 r = (\delta_1 - \delta_2) / (\delta_1 + \delta_2)$$

従って、多層膜界面での反射率を高くするためには、 δ の差の大きい物質の組み合わせを用いるのが良い。そこで、前記2条件(kが小さい物質、 δ の差の大きい物質の組み合わせ)を考慮して、多数の物質の組み合わせを検討した結果、(前記屈折率の差が小さい物質/前記屈折率の差が大きい物質)の組み合わせとして、①BとRu、Rh、Pd、又はAgの各組み合わせ、②CとRu、Rh、Pd、又はAgの各組み合わせ、③B₄CとRu、Rh、Pd、又はAgの各組み合わせ、④BNとRu、Rh、Pd、又はAgの各組み合わせ、が軟X線領域において、特に波長108.4Åの鉄の輝線スペクトル(Fe XIX)に対して高い反射率と波長分解能を有する多層膜反射鏡を作製する上で好ましいことが判った。

【0017】そして、このなかでも後記の実施例にかかる組み合わせが特に好ましいことが判った。また、多層膜反射鏡の反射率と波長分解能の両方を高めるためには、反射率の値が飽和するまで積層回数を多くすることが好ましい。さらに、多層膜反射鏡の反射率の中心波長を108.4 Åまたは略108.4 Åにするために、積層の周期長と前記層厚比の各値の組み合わせを選択することが好ましい。

【0018】図2は本発明にかかる組み合わせのRu/B₄C多層膜(周期長56Å、積層数200ペア)と従来から知られている組み合わせのMo/C多層膜(周期長56Å※50

*発明は第三に「前記第1層と前記第2層を1層ずつ積層した積層体の層厚に相当する前記積層の周期長、及び前記第1層と前記第2層との層厚比を反射率の中心波長が108.4 Åまたは略108.4 Åになる値の組み合わせにしたことを特徴とする請求項1または2記載の多層膜反射鏡(請求項3)」を提供する。

【0014】

【作用】多層膜反射鏡の反射率と波長分解能を高めるためには、使用する材料の選択が最も重要である。波長分解能は、反射率が飽和するまでは多層膜の積層回数(積層数)に比例して増加するので、これを高めるためには多数の層を積層しても反射率が飽和しないように、吸収の小さい物質の組み合わせを用いるのが良い。即ち、複素屈折率 $n = 1 - \delta - i k$ の虚部k(物質の吸収の大きさを表す量)の値が小さい物質を用いるのが良い。

【0015】一方、高い反射率を得るためには、各界面での反射率が高くなるような材料を用いるのが良い。垂直入射の場合における多層膜界面での振幅反射率rは、フレネルの式より、多層膜を構成する二つの物質の屈折率をそれぞれn₁、n₂として次式で与えられる。

※A、積層数200ペア)の反射率(R)と波長分解能($\lambda / \Delta \lambda$)をΓに対して描いた曲線(計算値)を示す。Mo/C多層膜では、Γ0.5のときに反射率35%、波長分解能65となり、反射率が充分ではない。しかし、本発明にかかるRu/B₄C多層膜を用いるとΓ0.5のときに反射率54%、波長分解能40となり、Γ0.3のときに反射率52%、波長分解能48となるので、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として充分な性能を得ることができる。

【0019】なお、計算値のみならず実際に作製した各多層膜の実測値においても、Mo/C多層膜(周期長56Å、積層数200ペア)では、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として充分な反射率及び波長分解能が得られなかった(反射率21%、波長分解能58)。一方、本発明にかかる多層膜(一例、Ru/B₄C、周期長56Å、積層数200ペア)を用いると、計算値のみならず実測値においても、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として充分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率42%、波長分解能43)。

【0020】以下、実施例により本発明をさらに詳しく説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0021】

【実施例1】本実施例では、重原子層としてRu、軽原子層としてBを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。RuとBの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にRu層2とB層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Ru/B多層

膜の周期長は56.2Å、 Γ は0.4、積層数は200ペアとした。図1に、その断面図を示す(図中では多層膜の層数は実際よりも少なく描いてある)。

【0022】本実施例にかかるRu/B多層膜(周期長56.2Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図3に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約58%であり、波長分解能は約40である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率46%、波長分解能41)。

【0023】

【実施例2】本実施例では、重原子層としてRh、軽原子層としてBを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。RhとBの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にRh層2とB層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Rh/B多層膜の周期長は56.2Å、 Γ は0.4、積層数は200ペアとした。

【0024】本実施例にかかるRh/B多層膜(周期長56.2Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図4に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約58%であり、波長分解能は約40である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率45%、波長分解能42)。

【0025】

【実施例3】本実施例では、重原子層としてPd、軽原子層としてBを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。PdとBの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にPd層2とB層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Pd/B多層膜の周期長は55.8Å、 Γ は0.2、積層数は200ペアとした。

【0026】本実施例にかかるPd/B多層膜(周期長55.8Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図5に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約51%であり、波長分解能は約49である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率41%、波長分解能49)。

【0027】

【実施例4】本実施例では、重原子層としてAg、軽原子層としてBを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。AgとBの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にAg層2とB層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Ag/B多層膜の周期長は55.8Å、 Γ は0.3、積層数は200ペアと

した。

【0028】本実施例にかかるAg/B多層膜(周期長55.8Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図6に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約52%であり、波長分解能は約40である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率43%、波長分解能41)。

10 【0029】

【実施例5】本実施例では、重原子層としてRu、軽原子層としてCを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。RuとCの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にRu層2とC層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Ru/C多層膜の周期長は56.5Å、 Γ は0.45、積層数は200ペアとした。

【0030】本実施例にかかるRu/C多層膜(周期長56.5Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図7に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約47%であり、波長分解能は約41である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率38%、波長分解能43)。

【0031】

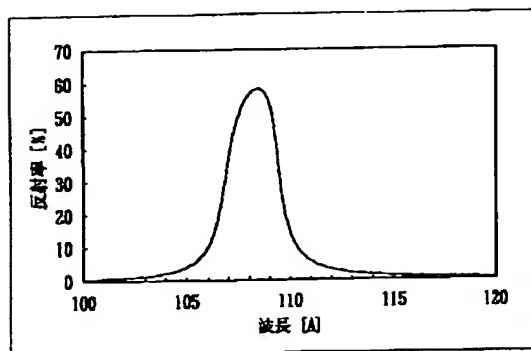
【実施例6】本実施例では、重原子層としてRu、軽原子層としてB₄Cを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。RuとB₄Cの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にRu層2とB₄C層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Ru/B₄C多層膜の周期長は56.2Å、 Γ は0.4、積層数は200ペアとした。

【0032】本実施例にかかるRu/B₄C多層膜(周期長56.2Å、積層数200ペア)の反射率(R)を波長(単位Å)に対して描いた曲線(計算値)を図8に示す。波長108.4 Åにおける反射率は約55%であり、波長分解能は約41である。また、作製した多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、X線望遠鏡に用いる多層膜反射鏡として十分な反射率及び波長分解能が得られた(反射率42%、波長分解能43)。

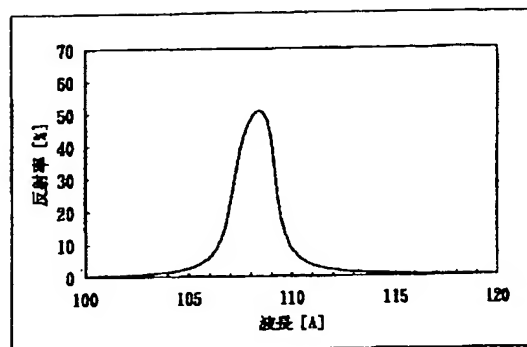
【0033】

【実施例7】本実施例では、重原子層としてRu、軽原子層としてBNを用いた。基板1には鏡面研磨した合成石英を用いた。RuとBNの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより、基板1上にRu層2とBN層3とを交互に積層して多層膜を作製した。Ru/BN多層膜の周期長は56.6Å、 Γ は0.4、積層数は200ペアとした。

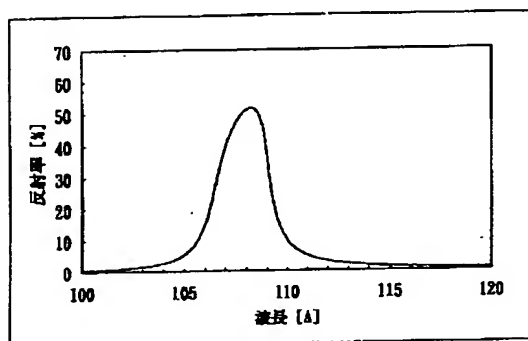
【図4】



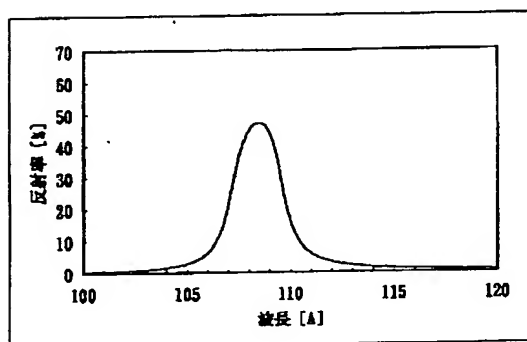
【図5】



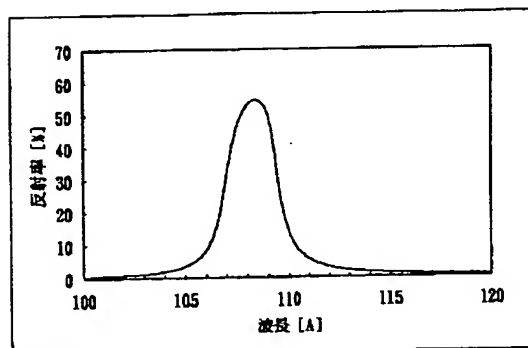
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

